



УДК 621.313.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА (НА ПРИМЕРЕ ГИДРОГЕНЕРАТОРА НУРЕКСКОЙ ГЭС)

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A SYNCHRONOUS GENERATOR (ON THE EXAMPLE OF THE HYDRO GENERATOR NUREK HPP)

Расулзода Хусрав Назир, аспирант, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары. E-mail: khusrav313233@mail.ru

Сафаралиев Муродбек Холназарович, аспирант, каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19 E-mail: murodbek_03@mail.ru. Тел.: +7(950)564-49-67

Юнусов Рустам Мингайсинович, аспирант, каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19 E-mail: r.m.iunusov@urfu.ru Тел.: +7(912)213-78-20

Khusrav N. Rasulzoda, post-graduate student, Chuvash State University, Russia, Cheboksary. E-mail: khusrav313233@mail.ru

Murodbek K. Safaraliyev, post-graduate student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: murodbek_03@mail.ru. Ph.: +7(950)564-49-67

Rustam M. Yunusov, post-graduate student, Department «Electric drive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: r.m.iunusov@urfu.ru. Ph.: +7(912)213-78-20

Аннотация: Современная электроэнергетическая система представляет собой сложную структуру с постоянно изменяющимися параметрами режима, а также при аномальных режимах. Динамические характеристики синхронного генератора характеризуются параметрами, влияющими на переходный процесс при изменении режима работы. В данной статье рассматривается влияние автоматического регулирования возбуждения (АРВ) на динамические характеристики синхронного генератора путем математического моделирования в среде Matlab/Simulink. АРВ играет значительную роль в повышении устойчивости генераторов в электроэнергетических системах в целом. Приведены результаты исследования.

Abstract: The modern electric power system is a complex structure with constantly changing parameters of the operation, as well as abnormal operation. Dynamic characteristics of a synchronous generator are characterized by parameters that affect the transient process when the operating mode changes. This article considers the effect of automatic excitation control (AEC) on the dynamic characteristics of a synchronous generator by mathematical simulation in the Matlab/Simulink environment. AEC will play a significant role in enhancing the stability of generators and the electric power system as a whole. The results of the study are presented.

Ключевые слова: синхронный генератор; математическое моделирование; моделирование; автоматическое регулирование возбуждения; Matlab/Simulink.

Key words: SYNCHRONOUS GENERATOR; MATHEMATICAL SIMULATION; SIMULATION; AUTOMATIC EXCITATION CONTROL; MATLAB/SIMULINK.

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование – исследование объектов на их моделях, изучение моделей реально существующих объектов, получение и

предсказание процессов явления, интересующих исследователя, с целью усовершенствования исследуемого объекта.

Электрическая система, находящаяся в нормальном состоянии (рабочем режиме), непрерывно получает некоторые малые отклонения, или малые возмущения, от исходного состояния. Появление различных ненормальных режимов приводит к большим возмущениям, приводящим далее к резким отклонениям от нормального режима.

При переходном режиме система переходит от одного установившегося режима к другому или после возмущения возвращается в исходному, как установившийся, так и переходные, должны отвечать определенным требованиям [4]. При расчетах переходных процессов необходимо, выполнить ряд условий, т.е. обеспечить:

- осуществимость режима, которая должна наступить после затухания переходных процессов;
- устойчивость перехода от одного режима к другому и устойчивость режима, наступающего после затухания переходных процессов;
- удовлетворительное качество переходного процесса;
- экономичность мероприятий, обеспечивающих соблюдение требований, предъявляемых к переходному процессу;

Существует различные меры повышение устойчивости в зависимости от вида повреждения и сложности систем. Эффективным средством повышение устойчивости работы генераторов электрических станций является автоматическое регулирование возбуждения.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как известно, в соответствии с требованиями, предъявляемых к системам возбуждения синхронных генераторов (СГ), система возбуждения должна обеспечить все режимы их работы, включая форсировку возбуждения на выводах, особенно при коротких замыкания в энергосистеме [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для исследования динамических режимов работы синхронного генератора необходимо разработать математический модель системе возбуждения генератора. Математическая модель должна служить в качестве инструмента диагностики и анализа ожидаемых динамических режимов работы. Исследования провести методом математического моделирования в среде Matlab/Simulink.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Для моделирования синхронных генераторов используется система дифференциальных уравнений Парка-Горева, в системе отсчета d-q по следующим выражениям [2].

$$\left. \begin{aligned} u_d &= -\frac{1}{\omega_c} p\psi_d - \psi_q(1+s) - R_s i_d; \\ u_q &= -\frac{1}{\omega_c} p\psi_q + \psi_d(1+s) - R_s i_q; \\ u_f &= \frac{1}{\omega_c} p\psi_f + R_f i_f; \\ u_{di} &= \frac{1}{\omega_c} p\psi_{di} + R_f i_{fi}, i = 0 \dots n_d; \\ u_{qi} &= \frac{1}{\omega_c} p\psi_{qi} + R_{qi} i_{qi}, i = 0 \dots n_q; \\ T_j p s &= p\omega \frac{T_j}{\omega_c} = M_T - M_\Sigma \end{aligned} \right\} \quad [1]$$

где u_d, u_q, u_f – напряжения обмотки статора по осям $d-q$ и напряжение обмотки ротора; R_s, R_f – сопротивления фазы обмотки статора и обмотки возбуждения; i_d, i_q, i_f – токи обмотки статора по осям $d-q$ и ток обмотки возбуждения; ψ_d, ψ_q, ψ_f – потокосцепления обмоток статора по осям $d-q$ и потокосцепление обмотки возбуждения; p – оператор Лапласа; n_d, n_q – количество демпферных контуров по соответствующей оси; T_j – инерционная постоянная; S – скольжение ротора генератора относительно синхронно вращающихся осей; M_T – механический момент на валу генератора, создаваемый первичным двигателем; M_Σ – электромагнитный момент сопротивления на валу генератора.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Входной величиной для синхронной машины будет момент сопротивления, а выходной – скорость вращения ротора ω . Параметры используются в системе относительных единиц. Поэтому, синхронный генератор имеет аналогичную математическую модель, что и синхронной двигатель.

Система автоматического регулирования скорости (момента) и система возбуждения синхронного генератора связаны с применением необходимой оптимальной мощности СГ, а также обеспечением всех режимов их работы, включая форсировку возбуждения на выводах, при коротких замыканиях в энергосистеме.

Этого можно достичь за счёт обеспечения работы СГ с номинальным потокосцеплением статора во всем диапазоне изменения нагрузки и коротких замыканиях в энергосистеме.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

С помощью разработанной математической модели (рис. 1) получены кривые переходных процессов и проведен анализ динамических свойств системы для различных переходных режимов (рис. 2-3). Объектом исследования является электромеханическая система на базе

синхронного генератора с основными параметрами: $P_H = 335 \text{ МВт}$, $U_H = 15750 \text{ В}$, $I_H = 14500 \text{ А}$, $f = 50 \text{ Гц}$, $\omega_H = 200 \text{ об/мин}$.

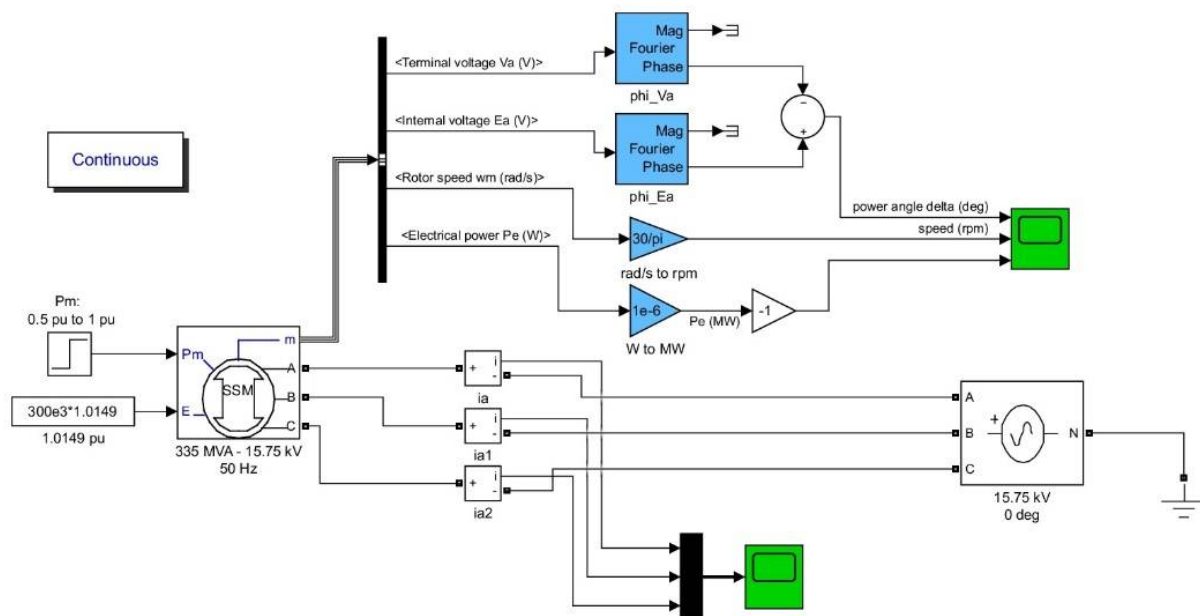


Рис. 1. Математическая модель синхронного генератора

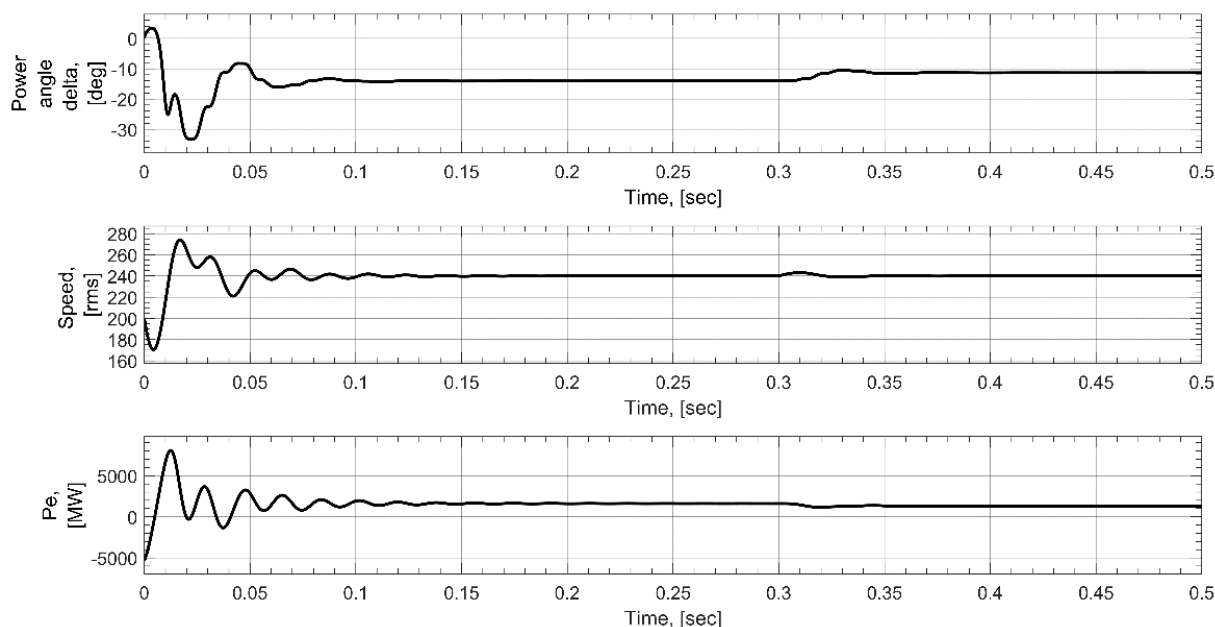


Рис. 2. Кривые переходных процессов угла нагрузки, скорости вращения ротора и вырабатываемой мощности генератора

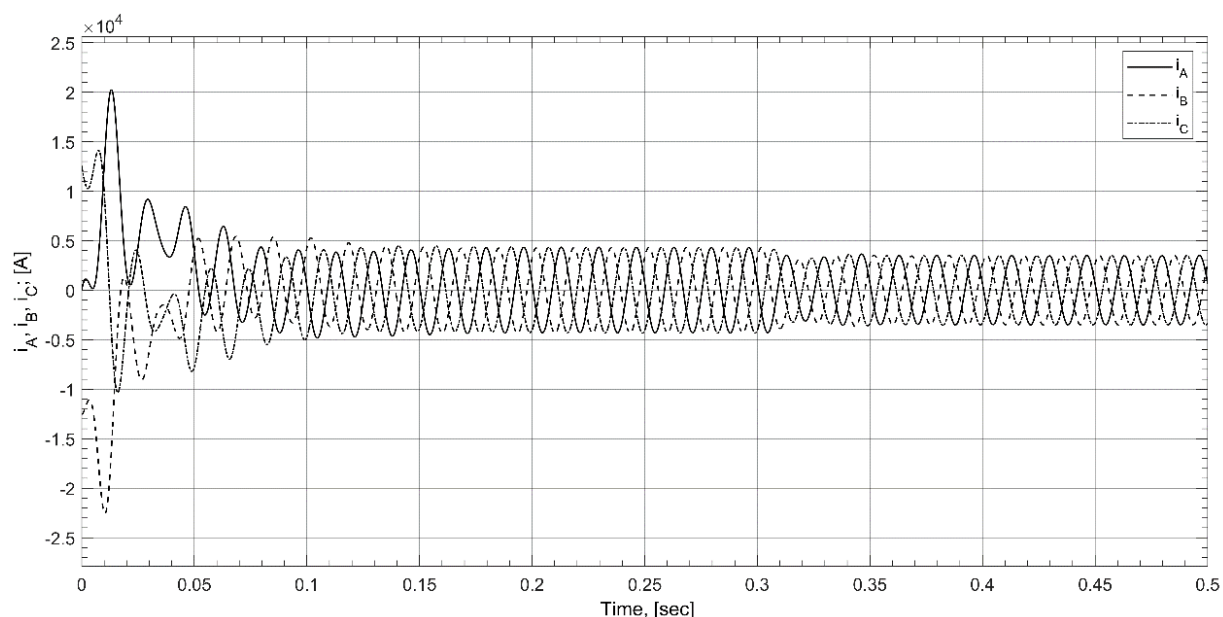


Рис. 3. Кривые изменения мгновенных значений токов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование динамических свойств синхронного генератора на математической модели синхронного явнополюсного генератора, базирующая на дифференциальных уравнениях Парка-Горева, учитывающая метод частичных характеристик намагничивания насыщение машины позволяет повысить точность расчетов переходных и установившихся режимов в электрической сети за счет учета изменения потока рассеяния обмотки возбуждения машины при нагрузке.

При управлении переходными процессами на первое место выдвигается не строгость и точность расчета, оцениваемая возможным совпадением его результатов с действительным протеканием процесса, а вероятность отклонения параметров управляемого режима от тех, которые признаны оптимальными. Следовательно, задачи управления переходными процессами должны, решаться как в порядке вероятности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 21558-2000. Система возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. Общие технические условия. М: Изд-во стандартов 2000.
2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием – М.: АCADEMA, 2006. – 259 с.
3. Шаров Ю.В., Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Воробьев А.Ю. Управление качеством электроэнергии. М.: ИД МЭИ, 2006. 320 с.
4. Веников, В. А. Переходные электрохимические процессы в энергетических системах / В. А. Веников. – М.: Высшая школа, 1978. – 415 с.
5. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учебник для вузов. В двух томах. Том 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 532 с.
6. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 496 с.
7. Глебов И.А. Системы возбуждения мощных синхронных машин / И.А. Глебов. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние 1979. 313 с.
8. Глебов И.А.. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин / И.А. Глебов. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние 1987. 344 с.